

© EP0000C / EPO

PN - JP2000002769 A 20000107
 PD - 2000-01-07
 PR - JP19980170336 19980617
 OPD- 1998-06-17
 TI - METHOD AND DEVICE FOR PREDICTING THE SPATIAL DISTRIBUTION OF GEOLOGICAL
 STRUCTURE TO PREPARE GEOLOGICAL MAP
 IN - KUMAR KARIYAN JANAKIRAMANKONNO MASAO; OGAWARA AKIRA
 PA - NIPPON KOEI CO LTD
 IC - G01V1/00 ; G06F15/18

© WPI / DERIVAT

TI - Geological map production method for determining rock variety, etc of ground - has data obtained from direct geological survey and non-destructive survey and soft map is produced which is interpolated using human perception

PR - JP19980170336 19980617

PN - JP2000002769 A 20000107 DW200012 G01V1/00 015pp

PA - (NIKO-N) NIPPON KOEI CO LTD

IC - G01V1/00 ; G06F15/18

AB - JP2000002769 NOVELTY - Geological data is collected by a geological survey. A non-destructive survey is performed with respect to distribution information of physical properties under a ground. A soft map is produced for every place. The soft map is interpolated by human perception using a hierarchical type of neural network process.

- USE - For producing geological map using artificial neural network communication, for determining rock variety, crack generation frequency, etc, of ground.

- ADVANTAGE - Produces useful computer model since input is provided by the neural network process. Completes map for discontinuous geological portion by using interpolation capability.

- (Dwg. 1/18)

OPD- 1998-06-17

AN - 2000-131621 [12]

© PAJ / JPO

PN - JP2000002769 A 20000107

PD - 2000-01-07

AP - JP19980170336 19980617

IN - KUMAR KARIYAN JANAKIRAMANKONNO MASAO; OGAWARA AKIRA

PA - NIPPON KOEI CO LTD

TI - METHOD AND DEVICE FOR PREDICTING THE SPATIAL DISTRIBUTION OF GEOLOGICAL
 STRUCTURE TO PREPARE GEOLOGICAL MAP

AB - PROBLEM TO BE SOLVED: To precisely predict the spatial distribution of a geological structure with less data and prepare an geological map by subjecting geotomogram and fuzzy soft map data by hierarchical neural network(NN) processing.

- SOLUTION: In the geological inspection in a field, data are inputted from the boring data input part 13 of an input part 10 to provide a geological map. With respect to the data extracted from the bore hole, the fuzzy map forming part 17 of a fuzzy NN part 11 forms a soft map data every geological section G1-G8. A hierarchical NN part to which this data is inputted also receives the geotomogram (seismic wave speed, specific resistance) obtained by physical probe from a geotomogram input part 14, and forms a fuzzy NN model on the basis of all the data. The geological map and the prediction reliability are outputted from a geological map output part 20 and quantitatively from a prediction reliability output part 21 through a non-fuzzy part 19, and fuzzy geological features every type are directly outputted to a fuzzy geological map output part 22.

I - G01V1/00 ;G06F15/18

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-2769

(P2000-2769A)

(43) 公開日 平成12年1月7日(2000.1.7)

(51) Int.Cl.	識別記号	F I	テマコード(参考)
G 0 1 V 1/00		G 0 1 V 1/00	Z
G 0 6 F 15/18	5 4 0	G 0 6 F 15/18	5 4 0 A
	5 6 0		5 6 0 Z

審査請求 未請求 請求項の数 8 O.L. (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平10-170336

(22) 出願日 平成10年6月17日(1998.6.17)

(71) 出願人 000230673

日本工営株式会社

東京都千代田区麹町5丁目4番地

(72) 発明者 クマール カリヤン ジャナキラン

茨城県稲敷郡基崎町高崎2304 日本工営株式会社中央研究所内

(72) 発明者 今野 正雄

東京都千代田区麹町5丁目4番地 日本工営株式会社東京事業部内

(72) 発明者 大河原 彰

茨城県稲敷郡基崎町高崎2304 日本工営株式会社中央研究所内

(74) 代理人 100076255

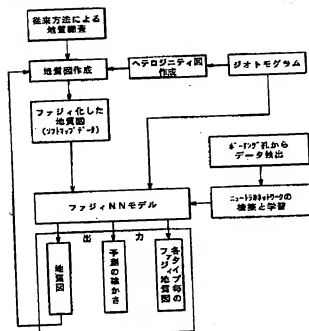
弁理士 古澤 俊明 (外1名)

(54) 【発明の名称】 地質構造の空間分布を予測して地質図を作成する方法及び装置

(57) 【要約】

【目的】 ボーリング孔間の領域における地質構造の空間分布を、少ないデータでより高い精度で予測して地質図を作成する方法及び装置を提供することを目的とする。

【構成】 地質調査により直接地質データを収集する手段と、地盤内部の物性値に関する分布情報を非破壊で検出するジオトモグラフィ手段と、各地質区分毎のファジィ化したソフトマップを作成する手段と、ジオトモグラフィ手段により得られたジオトモグラムとソフトマップ作成手段で得られたファジィ化したソフトマップデータとを階層型のニューラルネットワーク処理手段で得られたファジィ地質マップ出力を非ファジィ化して地質図を得る手段とからなる地質図の作成方法で、より優れたニューラルネットワーク解析方法を、それに深く関連するファジィ理論を駆使して発達させたものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 地質調査により直接地質データを収集する手段と、地盤内部の物性値に関する分布情報を非破壊で検出するジオトモグラフィ手段と、各地質区分毎のファジィ化したソフトマップを作成する手段と、前記ジオトモグラフィ手段により得られたジオトモグラムと前記ソフトマップ作成手段で得られたファジィ化したソフトマップデータとを階層型のニューラルネットワーク処理をする手段とからなることを特徴とする地質構造の空間分布を予測して地質図を作成する方法。

【請求項2】 地質調査により直接地質データを収集する手段と、地盤内部の物性値に関する分布情報を非破壊で検出するジオトモグラフィ手段と、各地質区分毎のファジィ化したソフトマップを作成する手段と、前記ジオトモグラフィ手段により得られたジオトモグラムと前記ソフトマップ作成手段で得られたファジィ化したソフトマップデータとを階層型のニューラルネットワーク処理をする手段と、この階層型のニューラルネットワーク処理手段で得られたファジィ地質マップ出力を非ファジィ化した地質図を得る手段とからなることを特徴とする地質構造の空間分布を予測して地質図を作成する方法。

【請求項3】 地質調査により直接地質データを収集する手段と、地盤内部の物性値に関する分布情報を非破壊で検出するジオトモグラフィ手段と、各地質区分毎のファジィ化したソフトマップを作成する手段と、前記ジオトモグラフィ手段により得られたジオトモグラムと前記ソフトマップ作成手段で得られたファジィ化したソフトマップデータとを階層型のニューラルネットワーク処理をする手段と、この階層型のニューラルネットワーク処理手段で得られたファジィ地質マップ出力を非ファジィ化した地質図を得る手段と、前記階層型のニューラルネットワーク処理手段で得られたファジィ地質マップ出力を非ファジィ化した予測の確かを定量的に出力する手段とからなることを特徴とする地質構造の空間分布を予測して地質図を作成する方法。

【請求項4】 地質データを収集する手段は、ボーリング・地形測量調査・地域内周辺の地質調査・現場調査を通じて得られたデータを収集する手段からなり、ジオトモグラフィ手段により検出する地盤内部の物性値は、少なくとも地震波速度と比抵抗値を含むようにしたことを特徴とする請求項1、2又は3記載の地質構造の空間分布を予測して地質図を作成する方法。

【請求項5】 ファジィ化したソフトマップを作成する手段におけるファジィ化は、地質調査により直接地質データを収集する手段により作成した地質図におけるある点からある地質層までの距離がその地質層内か又は所定の近い距離であれば、発生可能性を高く設定し、それより所定の遠い距離であれば、低く設定したことを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の地質構造の空間分布を予測して地質図を作成する方法。

【請求項6】 地質調査により直接地質データを収集する手段と、地盤内部の物性値に関する分布情報を非破壊で検出するジオトモグラフィ手段と、前記地質データを収集する手段からの地盤内部の物性値に関する分布情報に基づきヘテロジニティを作成して前記地質データを収集する手段へのデータとして送るためのヘテロジニティ作成手段と、各地質区分毎のファジィ化したソフトマップを作成する手段と、前記ジオトモグラフィ手段により得られたジオトモグラムと前記ソフトマップ作成手段で得られたファジィ化したソフトマップデータとを階層型のニューラルネットワーク処理をする手段とからなることを特徴とする地質構造の空間分布を予測して地質図を作成する方法。

【請求項7】 地質調査により直接収集した地質データ、地盤内部の物性値に関する分布情報と非破壊で検出したデータを入力する入力部10と、この入力部10から入力したデータをファジィ・ニューラル・ネットワーク処理をするファジィ・ニューラル・ネットワーク部11と、このファジィ・ニューラル・ネットワーク部11で処理されたデータに基づき地質図を出力する出力部12とを具備してなることを特徴とする地質構造の空間分布を予測して地質図を作成する装置。

【請求項8】 入力部10は、ボーリングデータなどの入力部13とジオトモグラム入力部14と標高データ入力部15とを具備してなり、ファジィ・ニューラル・ネットワーク部11は、ファジィ化マップ作成部17と階層型ニューラル・ネットワーク部18と非ファジィ化部19とを具備してなり、出力部12は、地質図出力部20と予測の確かさの出力部21とファジィ地質マップ出力部22とを具備してなることを特徴とする請求項7記載の地質構造の空間分布を予測して地質図を作成する装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、複数本のボーリング孔間に挟まれた情報不足領域における、地盤内部の地質構造の空間分布を予測して地質図を作成する方法及び装置に関するものである。さらに詳しくは、本発明は、人工的ニューラルネットワーク（以下、ANNという）の非線形現象に対する補間能力を利用し、人間によるファジィ的なものの見方による情報（Fuzzy Human Perception）及びジオトモグラム（物理探査データ）を入力して、予測精度の高い地質図を作成する方法及び装置に関するものとする。

【0002】

【従来の技術】大規模構造物の建設に関わる地盤工学的諸問題の解決には、地盤内部における地質構造の空間分布の把握及びその工学的性質の評価が必要である。一般的には、地盤内部における地質構造の空間分布の予測精度は、地質学的情報量が不足しているため、以下で述べ

る従来の方法すべてを用いても、比較的低いと考えられている。

【0003】地質調査の基本的方法は、ボーリング調査である。地質分布図を作成するには、通常、ボーリング・地形測量調査・地域内周辺の地質探査・現地踏査を通じて得られたデータを基にする。一般に、地域の地質学的解釈は、地質分布図と地質断面図として整理される。地質図の精度は、ボーリング孔近傍においては高いが、ボーリング孔から離れた範囲では、情報が不足するため、一般的に信頼性が低い。さらに、ボーリング調査は、費用が高く、そのコストは、信頼性の高い地盤内部構造を得るのに大きな障害となっている。

【0004】ジオトモグラフィは、地質調査法の中での物理探査法の一つであり、地盤内部の計測対象とした物理値に関する分布情報を、非破壊で断面図化することができ、この解析画像をジオトモグラムという。具体的には、センサーを地盤表面やボーリング孔、トンネル内部の壁面などに多数配置して、地盤を透過する地震波の速度（以下、速度又は地震波速度という）や直流比抵抗（以下、比抵抗という）を観測して、これらの情報から、通常、逆解析といわれる数値計算方法により、地盤内部の地震波速度と比抵抗の物理値の分布構造を断面図化する。一般的に、高い精度の物理分布図を得るには、観測値が多数あることとセンサーが解析対象の地盤周辺を取り巻くように密に配置されていることが必要であることが知られている。

【0005】ジオトモグラフィは、ボーリング調査と比較すると、比較的低いコストで、地盤内部の物理値に関する情報を得ることができるが、岩石の種類や亀裂の発生頻度など地質そのものの情報ではないことが欠点である。

【0006】前記ANNを様々な状況で適用した例がすでに公開されている。ANNは、人間の脳の構造をコンピュータ化した数値解析方法である。ニューロ・ファジィ・ネットワークと呼ばれる種類のANNは、非線形の空間補間及び知識に基づく判断という能力を持ち、地質学的モデリングには、特に魅力のあるものである。例えば、U. S. Patent No. 5,444,619は、ANNを用いた石油の蓄積量の予測方法に関するもので、図18(a)に示すようなボーリング調査によるデータと、図18(b)に示すような地震波速度データとをニューラル・ネットワーク処理をして、図18(c)に示すような地質図を得る方法である。

【0007】前述のように、ジオトモグラフィは、非破壊的に、かつ、ボーリング調査と比べて低いコストで、ボーリング孔間領域の画像を得る方法である。しかし、ジオトモグラムは、地質図そのものではなく、地質図そのものと比較すると、そのままだでは、地盤工学的課題の解決に有効に利用できない場合がある。そのため、ジオトモグラムと地質の関係について、地質学的解釈のため

の手法が必要とされるが、まだ定説はない。

【0008】そのため、数値計算結果であるジオトモグラムから、地質構造境界を作成し、地質図として表現することは困難である。従来は、岩石の硬さ・亀裂間隔・間隙率・岩質（例えば、砂岩と泥岩の含有率など）・含水比・弾性的性質などの性質と、速度・比抵抗の物理値との関係についての理論的・経験的知識、例えば、リニアに結合するなどの単純なモデル化に基づき、ジオトモグラムの地質学的意味を概略的に解釈してきた。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】以上のような従来の方法による地質図作成には、次のような問題があった。

(a) 地質図作成のための従来の調査方法は、ボーリング孔間の領域、特に、地層境界において精度に欠け、また、ジオトモグラムの地質学的解釈が概略的である、という問題があった。

【0010】(b) ボーリング孔における検層データを用いて、ボーリング孔に沿った1次元予測地質図を構築することは可能であるが、該当するデータの少ないボーリング孔間の領域に適用することはできないか、予想の範囲を越えない、という問題があった。

【0011】(c) ボーリング孔間の領域の予測地質図を開発するためには、空間的データが必要である。これまでは、大多数の地質図化がジオトモグラム（空間的データ）や他の物理探査データのみを用いて研究されてきた。しかし、現在まで、このアプローチによる改善はほとんど見られなかった。

【0012】以上のように、従来の地質図は、地質調査と解釈により構築されてきた。地質図は、多数の観測データを含み、これらは、複雑であり、数値的表現は困難である。さらに、特に、地質予測の領域において、多くの複雑さのために、経験的知識が主要な役割を果たしてきた。しかし、これらのソフト的な情報は、データ表現とコンピュータ処理の困難さから、予測地質図では、しばしば無視されてきた。

【0013】本発明は、ボーリング孔間の領域における地質構造の空間分布を、少ないデータでより高い精度で予測して地質図を作成する方法及び装置を提供することを目的とするものである。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明は、地質調査により直接地質データを収集する手段と、地盤内部の物理値に関する分布情報を非破壊で検出するジオトモグラフィ手段と、各地質区分のファジィ化したソフトマップを作成する手段と、前記ジオトモグラフィ手段により得られたファジィ化したソフトマップデータとを階層型のニューラルネットワーク処理をする手段と、この階層型のニューラルネットワーク処理手段で得られたファジィ地質マップ出力を非ファジィ化して地質図を得る手段とを

らなることを特徴とする地質構造の空間分布を予測して地質図を作成する方法である。

【0015】本発明は、ボーリング孔間の領域のデータ不足を補うため、ファジィ化した既存の地質断面図を、質的かつ量的な人間の観察結果をまとめたデータとして利用している。本発明は、ジオトモグラムに含まれる物理的性質の境界に関する情報を強調し、ボーリング孔間の領域の地質境界を補完する場合の作業を支援する。このように、本発明は、より優れたニューラルネットワーク解析方法を、それに深く関連するファジィ理論を駆使して発達させたものである。

【0016】本発明のファジィ・ニューラル・ネットワーク部11は、ジオトモグラムの地質学的解釈を行う方法を確立するための、ソフト・マップ・データを得るファジィ化マップ作成部17と、階層型ニューラルネットワーク部18と、非ファジィ化部19とが利用された新しいタイプの数値解析方法である。このファジィ・ニューラル・ネットワーク部11は、学習することにより地質図を予測するとともに、予測の確からしさの指標を得ることができる。

【0017】本発明で使用されるソフト・マップ・データの用語は、既存の地質図から抽出されるファジィな（曖昧な、と同義）情報を表現するために用いられる。この用語は、従来のコンピュータ化方法に對立するソフトコンピュータ化という用語からの類比的表現である。ボーリング孔間の領域における地質学的性質を予測するために、ジオトモグラムとともに、ソフトマップデータを使用することの有用性が、本発明により確立された。

【0018】従来の地質調査と解釈により作成された地質図から、ボーリング孔間の領域の地質学的特徴が分かるが、このような従来の地質図は、当業者の観察と経験による大まかなものということができる。多くの定性的観察結果と、コンピュータによる地質図では表現し難い人間の知識が含まれている。しかし、従来の地質図は、近似的であり、特にボーリング孔間の領域では、その傾向が強いという点を注意すべきことは重要である。

【0019】定性的観察結果は、コンピュータによる地質図上で表現することは難いが、本発明のように、ファジィ理論を用いれば、当業者の量的又は質的なものの見方を、ニューラルネットワーク理論適用の枠組みに取り込み、これらの地質図を入力情報又はルールとして利用することができる。

【0020】本発明では、さらに、ジオトモグラムを予測処理することにより、ヘテロジニティ図を作成できる。これは、ボーリング孔間の領域の強調画像であり、地盤内部に硬い物質や断層系が介在する場合に、その画像上での同定を可能にする。ヘテロジニティ図は、当業者がボーリング孔において認めた地層境界をボーリング孔間の領域に補完する場合に参考となる。

【0021】ニューラルネットワークへの概略的な知識の関連付けは、Nikola Kasbov氏により提案された方法により行うことができる。ファジィNNモデルの出力は、再度断面図を構成し、それを反復的なニューラルネットワークに対する入力として再利用できる。当業者の適度な修正の後に、出力図からは、新しい知見が得られる。

【0022】【発明の実施の形態】本発明の一実施例を図面に基づき説明する。

1. 試験地の概要
本発明による地質図作成方法の実行可能性を、地質図を必要とする発電所を試験地として選んで調査した。この試験地の全体的特徴として、中生代の堆積岩が存在し、この堆積岩は、砂岩、泥岩、混在岩（泥岩基質に砂岩とチャート岩塊が混在したもの）から成り立っているものとする。地質は、地表面から500m下部にあるため、風化や変質の影響はなく、岩石は、新鮮で、硬く、物理的性質（地震波速度と比抵抗）は、地質学的には地質区分とともに変化すると思われる。試験地域の大きさは、150m×240mとした。

【0023】この試験地における地質図作成には、後述するように、垂直なボーリング孔、水平なトンネルでの検層結果、すなわち、図3に示す従来方法により作成された地質図と、図16(a-1)(b-1)に示すジオトモグラム（地震波速度、比抵抗）とが用いられた。なお、図16(a-1)(b-1)に示すジオトモグラム（地震波速度、比抵抗）は、以下の説明の都合と、図3に示す地質図の中の点R、S、T、U、R間の抜き出しで作成したものである。

【0024】これらの図3及び図16では、地質区分をG1、G2、G3、G4、G5、G6、G7、G8で示したが、実際の地質区分は、G1-白、G2-赤、G3-緑、G4-紺、G5-紫紅、G6-桃、G7-黄、G8-橙などのカラーコードに置き換えて表示するようにしてもよい。

【0025】得られた空間データ及び非空間データは、予備段階として、地図処理のための公知のGIS (Geographic Information System) を使用してデジタル化し、かつ、座標設定をした。その結果、全データがデジタル形式で処理できる。また、地震波速度の解像度に整合させるため、数値処理ではセルの大きさを2mとした。

【0026】図2は、本発明による複数のボーリング孔間の地質的性質を予測するための回路のブロック図である。本発明による装置は、入力部10と、ファジィ・ニューラル・ネットワーク部11と、出力部12とからなる。前記入力部10は、垂直なボーリング孔、水平なトンネルなどの検層結果、現場踏査、経験によるデータなどのボーリングデータなどの入力部13、地震波速

度、比抵抗などのジオトモグラムを入力するジオトモグラム入力部14、このジオトモグラム入力部14からのデータに基づきヘテロジニティ図を作成するヘテロジニティ作成部15、標高データを入力する標高データ入力部16からなる。前記ファジィ・ニューラル・ネットワーク部11は、ファジィ化マップ作成部17、階層型ニューラル・ネットワーク部18、非ファジィ化部19からなる。前記出力部12は、地質図出力部20、予測の確かさの出力部21、ファジィ地質マップ出力部22からなる。

【0027】図1は、本発明による複数のボーリング孔間の地質的性質を予測するためのフローチャートである。大略を説明すると、従来の方法により現地の地質調査をし、前記入力部10のボーリングデータなどの入力部13、標高データ入力部16などからそのデータを入力し、さらに、経験を加味して、図3に示すような公知の方法による地質図が得られる。また、ボーリング孔などから抽出したデータは、ニューラルネットワークの構築と学習を行い、ファジィ・ニューラル・ネットワーク部11へ送られる。

【0028】この図3に示す地質図における地質区分G1、G2、…G8毎に、ファジィ化マップ作成部17にてファジィ理論による処理をする。図9に示すようなソフトマップデータを作る。これらのデータは、すべて階層型ニューラル・ネットワーク部18へ送られる。なお、図10に示すソフトマップデータは、前記図3に示す地質図の中の点R、S、T、U、R間に対応する部分を図9から抜き出したものである。

【0029】物理探査により得られたジオトモグラム（地震波速度、比抵抗など）は、ジオトモグラム入力部14から階層型ニューラル・ネットワーク部18へ送られるとともに、ヘテロジニティ作成部15へ送られる。このヘテロジニティ作成部15では、ジオトモグラムから図16（a-2）（b-2）に示すようなヘテロジニティ図が作られる。

【0030】ファジィ・ニューラル・ネットワーク部11では、以上のデータに基づきファジィ化したニューラル・ネットワークモデルを作り、これを非ファジィ化部19を介して、地質図出力部20から地質図を出力し、予測の確かさの出力部21から予測の確かさを定量的に出力し、さらに、階層型ニューラル・ネットワーク部18から直接、ファジィ地質マップ出力部22へ各タイプ毎のファジィ地質を出力する。

【0031】以下、さらに詳細を説明する。

2. ソフトマップデータの準備

図4に示す特性図は、図3に示す地質図におけるボーリング孔、トンネルなどのすべての検閲結果に基づく各サンプルを地質区分G1、G2、…G8に分け、それぞれの地質区分G1、G2、…G8の各サンプル毎に、地震波速度（縦軸）と比抵抗（横軸）との関係プロットし、

各プロットした点を包絡したものである。この特性図によれば、地質区分が多数存在する場合、地震波速度と比抵抗だけでは地質区分を同定することは困難であることを示している。例えば、図4において、比抵抗と地震波速度が点Qにある岩石の名前を推定する場合、この図4では、G2、G3、G4、G5、G6、G7、G8のいずれにも近似しており、地質区分を同定することは困難である。これは、クラスター（同一群）の重複が大きいためである。

【0032】しかし、例えば、図3における点P近傍における地質を同定しようとする場合、このP点近傍では、G1とG4のいずれかであることが推定される。そこで、図4に示す特性図から図5に示すようなG1とG4だけ抜き取った特性図を作り、点Qにある岩石の名前を推定すると、点Qは、G4のグループに入ることがほぼ間違いない。このように、2〜3種類のできるだけ少ない地質区分の特性図を作り、これを用いて同定することにより、クラスターの重複を回避でき、ジオトモグラムによる地質の予測精度を改善することができる。これが、本発明の基本的考えであり、かつ、特徴でもある。

【0033】前述のように、従来の地質図は、地質調査と解釈により構築されてきた。地質図は、多数の観察データを含み、これらは、複雑であり、数値的表現は困難である。さらに、特に、地質予測の領域において、多くの複雑さのために、経験的知識が主要な役割を果たしてきた。しかし、これらのソフト的な情報は、データ表現とコンピュータ処理の困難さから、数値解析では、しばしば無視されてきた。

【0034】ソフト的な情報のモデル化は難しいが、地質図を用いて、当業者の量的・質的なものの見方を関連付けることは可能である。地質に対する地質技術者のものの見方は、図面の形式で表現されるが、ボーリング孔間の領域では厳密に正しいものではない。ファジィ理論を用いることで、ボーリング孔間の領域において、当業者が干渉した地質区分（G）は、地質区分の検定に対するメンバシップの真値 $\mu^G(x, y)$ として表現される。また、 μ^G は、ファジィ・メンバシップ関数として表現される。

$$\mu^G(x, y) = f\{d_G(x, y), y_1, y_2\}$$

【0035】ここで、 $d_G(x, y)$ は、ある点 (x, y) からある地質層までの最小のユークリッド距離である。図6は、発生可能性のファジィ定義を説明するためのもので、この図において、もし、 d が「その層内又は近い $(0 \leq d < y_1)$ 」であれば、 $\mu = 1$ である。もし、「遠い $(y_1 \leq d < y_2)$ 」であれば、 $0 \leq \mu < 1$ である。もし、「非常に遠い $(y_2 \leq d)$ 」であれば、 $\mu = 0$ である。2つのパラメータ y_1, y_2 は、それぞれ近い区域と遠い区域などのように、広さを設定するときに使用され、この距離は、一定でもよいし、また、地質層の種類によって異ならせてもよい。

【0036】地質図をファジィ化する手段をまとめたものが図7であり、次のステップから成り立っている。

(a) 図3に示すような従来の地質図から各地質区分G1、G2、…G8の存在可能域を区分し、図9及び図10に示すように、各タイプ毎に分けられたファジィ化地質図が作られる。各地質区分G1、G2、…G8における任意の点の最小のユークリッド距離がセルを作るために計算される。

【0037】(b) 図7に示したメンバーシップ関数を構築するパラメータ y_1 、 y_2 は、各点において、存在可能性の高い少なくとも最低2つの地質区分から選択される。例えば、図6において、 y_1 は30mに、また、 y_2 も、30mに設定される。さらに詳しくは、図3におけるX-X線断面の各地質区分は、図7のような地質区分G6、G3、G2、G1、G4となるが、地質区分G1の場合、G2に接する側ではG1とG2の地質区分から選択され、また、G4に接する側ではG1とG4の地質区分から選択される。

【0038】なお、図6において、 y_1 と y_2 がともに30mに設定されているにも拘らず、図7では、 y_1 と y_2 の距離に違いがあるのは、図8に示すように、断面のためのX-X線と地層との交点において、地層に直交線の距離（最小のユークリッド距離）を y_1 、 y_2 とし、直交線にさらに直交した線とX-X線との交点までの距離を図7における y_1 、 y_2 としたことによる。

【0039】(c) ソフトマップデータは、前記距離マトリクスとメンバーシップ関数から導かれたものである。図9は、前述のようにソフトマップデータの例を表している。なお、図9は、図3に示す地質図全体のソフトマップデータを表しているが、図10は、以後の説明の都合上、図3における点R-S-T-U-R間のみ抜き出して部分のソフトマップデータを表していることは、前述の通りである。

【0040】3. 階層型ニューラル・ネットワーク部18の構築、学習、検証

階層型ニューラル・ネットワーク部18は、非線形の補間能力を有するにも拘らず、単独では、性質がどうであるかというような分類の問題に対しては欠点を有しており、その重要な理由には以下の通りである。地質区分は、統計学上のカテゴリ・データであり、階層型ニューラル・ネットワーク部18により単純に表現できるものではない。階層型ニューラル・ネットワーク部18によるカテゴリ・データのモデル化は、不自然なプロセスである。

【0041】階層型ニューラル・ネットワーク部18の欠点のひとつは、図2に示すようなファジィ・ニューラル・ネットワーク部11を考慮することによって克服することができる。このファジィ・ニューラル・ネットワーク部11は、前述のように、ファジィ化マップ作成部17、階層型ニューラル・ネットワーク部18、非フ

ァジィ化部19からなる。

【0042】階層型ニューラル・ネットワーク部18は、地質区分G1、G2、…G8などの地質区分と同数の多くの区間[0, 1]ファジィ出力変数を持っている。ボーリング孔間の領域の地質の性質、ある点(x, y)における例えば地質区分「G」を予測するためには、つぎの関数が必要である。

$$G(x, y) = f[a(x, y), \mu^1(x, y), \mu^2(x, y), \dots, \mu^n(x, y)]$$

ここで、Gは、座標(x, y)の地質メンバーシップベクトル $[g_1, g_2, g_3, \dots, g_n]$ である。各地質区分に対する要素は、仮説 $G = g, g = 1, 2, \dots, n$ は、地質区分の数である。aは、座標(x, y)のジオトモグラム属性ベクトル $[a_1, a_2, a_3, \dots, a_n]$ である。例えば、 a_1 は、地震波速度、 a_2 は、比抵抗、など。aは、ジオトモグラムのデータ数である。 μ^i は、座標(x, y)の各地質区分のファジィ・ベクトル $[\mu^1, \mu^2, \mu^3, \dots, \mu^n]$ である。ここで、 μ^i は、地質区分の数である。zは、セル(x, y)の標高である。

【0043】適当なヒドンニューロン(hidden neuron)とヒドン層(hidden layer)が階層型ニューラル・ネットワーク部18のために利用され、また、ニューロンは、ネットワーク・ブルーニング方法を使用して最適に調整した。

【0044】学習プロセスにおいて、ある特定の点における目的の地質区分の存在は、ネットワークからの出力を1（存在する）と0（存在しない）で表現する。このため、階層型ニューラル・ネットワーク部18の出力も区間[0, 1]に制限される。さらに、出力は、凸型・正規型であり、ファジィ・メンバーシップ関数の性質を示す。そこで、i番目の出力は、ファジィ数として解釈され、仮説 $G(x, y) = g_i$ の真値度の指標である。また、入力データ領域に出力をマッピングすることにより、特定の地質に対するファジィポシビリティマップを作成することができる。地質区分に対するファジィポシビリティマップは、その存在可能性を表現することとなる。数値が1に近い領域は、高い可能性範囲であり、数値が0に近い領域は、低い可能性範囲である。

【0045】前記ファジィ・ニューラル・ネットワーク部11は、ファジィプロセスであり、このファジィ・ニューラル・ネットワーク部11の階層型ニューラル・ネットワーク部18から出力した地質区分G1、G2、…Gnは、非ファジィ化部19にて非ファジィ化されて、地質図出力部20に最も存在可能性の高い地質図が得られ、予測の確かさの出力部21に予測の確かさが出力される。具体的には、ある場所における地質は、ファジィ番号の大きいものが採用され、最も高い真値度をもつ地質区分である。真値度は、予測の確かさとしての程度の指標にもなり、各点の予測された地質の確からしさについて、など真値度線を引くことにより、最終的に作成され

た地質図の確からしさを表現することができる。図14における(a-1)は、ジオトモグラムのみの予測図を示し、(a-2)は、予測の確からしさを示し、また、図14における(b-1)は、本発明のファジィ・ニューラル・ネットワーク部11によって処理したジオトモグラムとソフトマップデータによる予測図を示し、(b-2)は、予測の確からしさを示している。

【0046】ニューラルネットワークの学習
ジオトモグラムa、ソフトマップデータ μ は、図11に示すように、正確な地質が知られ、かつ、学習用データとして利用可能なボーリング地点近傍のデジタルマップから抽出した。また、数値計算上の理由により、ジオトモグラフィ・データは、その対数変換値を利用した。ボーリング柱状図に記載された地質が望ましい出力として利用された。用意したデータのうち、85%を実際の学習に使用し、残りの15%は、ニューラルネットワークの検証のために保存した。

【0047】ファジィ・ニューラル・ネットワーク部11における階層型ニューラル・ネットワーク部18と非ファジィ化部19のうちの階層型ニューラル・ネットワーク部18だけを学習した。ニューラルネットワークには、逆誤差伝播、エラー伝播アルゴリズムを含み多数の学習アルゴリズムが存在する。本発明では、前記Nikola Kasbov氏の述べているような能力を有しないが、ファジィ能力を有する階層型ニューラル・ネットワーク部18が用いられた。

【0048】大域誤差関数(Global Error Function)と最急降下法(Steepest Descent Method)に基づく重み調整アルゴリズムは、逆誤差伝播則に類似している。

【0049】以下の式において、 $0 < \eta < 1$ は、学習率であり、 α は、モメンタム係数、 $\delta \times \text{Act}^*$ は、勾配である。各層についての δ は、次のように順々に計算される。

$$\text{Error} = 0.5 \times \sum_i (y^d - y^a)$$

$$\Delta w_{i,j} = \eta \delta \times \text{Act}^* + \alpha \Delta w_{i,j}$$

$$\text{アウトプット層: } \delta^o = y^d - y^a$$

活動層: 層の各ニューロンについての誤差は、アウトプット誤差と、そのニューロン、 d^a の活動に基づいて計算される。

$$\delta^a = \text{Act}^* \times (1 - \text{Act}^*) \times (d^a - \text{Act}^*)$$

$$\text{規則層: } \delta^r = \text{Act}^* \times (1 - \text{Act}^*) \times \sum (w_{r,i} - \text{Act}^*)$$

$w_{a,r}$ は、規則と活動層の間の重みである。条件層: 各条件ニューロンについての重み付け更新規則は、次のように改善される。

$$w_{i,c}(t+1) = \eta \delta^c x_i + \alpha \Delta w_{i,c}(t)$$

ここで、 x_i は、 i 番目の入力変数である。

$$\delta \text{Act}^* \\ \delta c = \frac{\partial \text{Act}^*}{\partial a_i} \times \sum (w_{i,c} \times \delta^r)$$

Act^* は、その特定層に見られた活動作用関数である。ファジィ能力として、もし必要なら、学習の前に階層型ニューラル・ネットワーク部18へ次の条件を組み込むことが有効である。

「もし、地震波速度値が高く、かつ、比抵抗値が高ければ、地質区分Gは、G1である。」

これは、図4及び図5の特性図から導かれる。しかし、本発明の重要性が分らなくなるので、そのような能力は組み込まなかった。

【0050】ニューラルネットワークの検証
有効なデータの85%をニューラルネットワークの実際の学習に使用し、残りの15%のデータセットがモデルの予測試験用に保存された。一例として、地質区分にG1対して、図13に示すような、実測値(a)と、従来のジオトモグラムのみにによる予測値(b)と、本発明方法による予測値(c)とが作成された。これらの図から、本発明による出力は、従来の方法による場合に比較して、鋭角な凸型又は正規型であり、より精度が高いことを表している。

【0051】4. ボーリング孔周領域の地質予測
ソフトマップデータに関連付けられた予測の改善状況を、以下に説明するように、予測の確かさとともに評価した。図12は、テストデータの出力を要約したもので、2種類の例、すなわち、1つは、ジオトモグラムのみを入力として用いた従来方法による例であり、もう1つは、ジオトモグラムとソフトマップデータを入力した本発明方法による例である。この図12から明らかなように、本発明方法による例の場合(ソフトマップデータに関連付けた場合)の予測が、従来方法による例による場合よりもすべての地質区分で優れていることがわかる。

【0052】予測された地質の確認には、多数のボーリング調査が必要であるが、実施には困難であり、そのため、間接的な確認のみが可能である。そして、予測図は、当業者の検討により、可能な地質図として確認された。

【0053】図14について、重要な点のいくつかを次にまとめる。なお、図14(a-1)は、従来のジオトモグラムのみにによる予測を表し、(a-2)は、従来のジオトモグラムのみにによる予測の確からしさを表し、(b-1)は、本発明のジオトモグラムとソフトマップデータによる予測の確からしさを表し、(b-2)は、本発明のジオトモグラムとソフトマップデータによる予測の確からしさを表している。

【0054】(a) ボーリング及びトンネルに沿う一致: ボーリング及びトンネルに沿う垂直及び水平地質の情報は、ニューラルネットワーク解析の学習や予備検討

に使用しなかった。これらボーリング及びトンネルに沿った地質の場所では、予測された地質が図3に示す実際の地質とかなり一致していることがわかる。

【0055】(b) 実際に見ることができないボーリング孔間の領域、例えば、図14の上部におけるボーリング孔間の領域で見られる地質的变化は、図3の実線及び図14の点線で示した従来方法による地質図には略直線的な傾斜として認められる。しかし、図16(a-1)(b-1)に示す物理探査学的な地震波速度図と比抵抗図の画像については、直線的な変化ではなく、かなり入り組んだ曲線的な変化として認められる。

【0056】(c) 地質境界：当業者は、図3に示す地質図に示すように、全体的傾向として、断面内の地質境界は左から右にかけて下向きに略直線的に傾斜しているものと判断している。本発明方法による地質図では、図14(b-1)に示すように、断面内の地質境界は左から右にかけて下向きに傾斜している傾向があるが、直線的な傾斜ではないことが把握された。

【0057】(d) ファジィマップ：各地質区分G1、G2、...Gnに対して図9及び図10に示すようなファジィマップを作成することが可能で、発生可能性の高い領域を特定するのに役立つ。これらの画像は、当業者の図3に示した総合的な判断による地質図と、図15に示すような本発明によるファジィ予測の地質図と概ね整合する。

【0058】予測された地質図は、当業者が必要な修正を加えた後で、反復形式で再使用することができ、本発明方法による図14(b-1)(b-2)を入力として用いて、地質予測をさらに優れたものに行うことができる。

【0059】5. ヘテロジニティ図と既存地質図への使用

物理探査学的属性のヘテロジニティ、すなわち、地震波速度の場合のヘテロジニティは、任意のセル「i」について、その近傍領域からの変化として、次のように定義される。

$$H_i^{(1)} = v_i - \sum_{j \in N_i} v_j / n$$

ここで、 N_i は、「i」番目のセルの近傍領域であり、「n」は、近傍領域のセル数である。

【0060】具体例として、ヘテロジニティ図を図16に示した。この図16において、(a-1)は、地震波速度図、(a-2)は、地震波速度図のヘテロジニティ図、(b-1)は、比抵抗図、(b-2)は、比抵抗図のヘテロジニティ図である。これらの(A-2)(b-2)図において、白い領域は、ヘテロジニティが高い領域である。正方形および円形の最大25要素までの近傍領域形状が検討された。ヘテロジニティ図のパターンは、近傍領域の形状によらず不変であった。

【0061】図17により、地震波速度のヘテロジニティ

ィから理解できる事柄を以下に説明する。(a)は、ある位置の地震波速度そのものを表したものであるが、この特性図からはほとんど何も理解できない。(b)は、

(a)で示した地震波速度のヘテロジニティ図であり、この図から、岩種の分析について検討した。実線がヘテロジニティ、点線が硬い岩石、2点線線が軟らかい岩石の特性図である。ボーリング柱状図から、最も硬い岩石の累積層厚は、各メッシュ・セル内の硬い岩石の幅を合計することにより計算してプロットした。最も軟らかい岩石の厚さも計算し、プロットしたが、負のスケールである。ヘテロジニティは、軟らかい岩石が豊富な領域では一般的に低く、硬い岩石が豊富な領域では高いことをこの図は示している。

【0062】(c)は、亀裂が存在する位置の地震波速度を表したものである。(d)は、(c)で示した地震波速度のヘテロジニティを表したもので、亀裂が存在する場合には、ヘテロジニティの強度変化が、高く、急激に変化することが観測された。(e)は、ある特定のボーリング孔に沿った位置の地震波速度のヘテロジニティを示すもので、実線が3m×3mのセルの場合の特性図で、点線が5m×5mのセルの場合の特性図である。

【0063】図17において、ヘテロジニティが滑らかに変化し、かつ、強度が小さいヘテロジニティの場合には、亀裂が少ない岩石基質である可能性がある。長く狭い、高いヘテロジニティの場合には、地層境界か、亀裂・節理などである可能性がある。ヘテロジニティ図は、物理的性質の境界を強調するが、ジオトモグラムで見られる状況と異なる。これらの強調は、当業者がボーリング孔で発見した地質境界をボーリング孔間の領域に補完する作業を支援することに使用可能である。

【0064】本発明の以上の実施例では、いずれも2次元の地質図の場合を説明したが、3次元の場合であっても同様に適用できることは明白である。

【0065】

【発明の効果】(1) ソフトマップデータの関連付けにより、地盤内部の岩石の種類や亀裂の発生頻度など地質そのものの情報を高い精度で得ることができる。

(2) 本発明のファジィ・ニューラル・ネットワーク部11は、ファジィ化マップ作成部17と、階層型ニューラルネットワーク部18と、非ファジィ化部19とを利用した新しいタイプの数値解析方法であり、このファジィ・ニューラル・ネットワーク部11は、学習することにより地質図を予測するとともに、予測の確からしさの指標を得ることができ、ボーリング孔間の領域における地質構造の空間分布を、少ないデータでより高い精度で予測した地質図を作成することができる。

【0066】(3) 定性的観察結果は、コンピュータによる地質図上で表現することは難しいが、本発明のように、ファジィ理論を用いることにより、当業者の量的又は質的なものの見方を、ニューラルネットワーク理論通

用の枠組みに取り込み、これらの地質図を入力情報又はルールとして利用することができる。

(4) ジオトモグラムに含まれる物理的性質の境界に関する情報を強調し、ボーリング孔間の領域の地質境界を補間する場合の作業を支援することができる。

(5) 階層型ニューラルネットワークの多変量回帰能力を、カテゴリ変量をファジィ変量として取り扱うことにより、制約条件の影響を受けることなく、完全に利用することができる。また、地質学的観点からも、ファジィ的な取り扱い方法は、データの不確かさの存在を考慮する上で有意義である。

【0067】(6) コンピュータモデルによって作成された情報を活用する上できわめて有用である。

(7) ファジィニューラルネットワークにより、不連続的な地質部にも有効である。

【0068】(8) 地質データを収集する手段からの地盤内部の物性値に関する分布情報に基づきヘテロジニティを作成して地質データを収集する手段へのデータとして送るためのヘテロジニティ作成手段を有し、ジオトモグラムを予備処理することにより、ヘテロジニティ図が作成できる。これにより、ボーリング孔間の領域の強調画像が得られ、地盤内部に硬い物質や断層系が介在する場合に、その画像上での同定を可能にする。したがって、ヘテロジニティ図は、当業者がボーリング孔において認めた地層境界をボーリング孔間の領域に補間する場合に参考となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による地質図作成方法を説明するためのフローチャートである。

【図2】本発明による地質図作成装置の一実施例を示すブロック図である。

【図3】従来方法により作成した地質図である。

【図4】ボーリングにより採集した全サンプルの地質区分毎の比抵抗と地震波速度の特性図である。

【図5】図4における2つの地質区分G1とG4のみの比抵抗と地震波速度の特性図である。

【図6】ファジィ定義を説明するための説明図である。

【図7】X-X線断面における各地質毎のメンバーシップ関数の説明図である。

【図8】図6及び図7における最小のユークリッド距離の説明図である。

【図9】図4における各地質毎のファジィ化マップであ

る。

【図10】図3における点R・S・T・U・V・R内の各地質毎のファジィ化マップである。

【図11】従来のジオトモグラムと本発明によるソフトマップデータの具体例を示す説明図である。

【図12】各地質における従来方法と本発明方法との予測の確かさを比較した説明図である。

【図13】地質区分にG1対して、実測値(a)と、従来のジオトモグラムのみによる予測値(b)と、本発明方法による予測値(c)とを示す説明図である。

【図14】(a-1)は、ジオトモグラムのみによる予測地質図、(a-2)は、ジオトモグラムのみによる予測の確かさの指標図、(b-1)は、ジオトモグラムとソフトマップデータとによる予測地質図、(b-2)

は、ジオトモグラムとソフトマップデータとによる予測の確かさの指標図である。

【図15】各地質毎のファジィ予測の地質図である。

【図16】図3における点R・S・T・U・R間の特性図で、(a-1)は、地震波速度の分布図、(a-2)

は、(a-1)における速度ヘテロジニティ図、(b-1)は、比抵抗の分布図、(b-2)は、(b-1)における比抵抗ヘテロジニティ図である。

【図17】地震波速度ヘテロジニティ図で、(a)は、地震波速度図、(b)は、実線が硬い岩石の特性図、2点鎖線が軟らかい岩石の特性図、(c)は、他の例の地震波速度図、

(d)断層を表示した地震波速度ヘテロジニティ図、

(e)は、実線が3m×3mセルの地震波速度ヘテロジニティ図で、点線が5m×5mセルの地震波速度ヘテロジニティ図である。

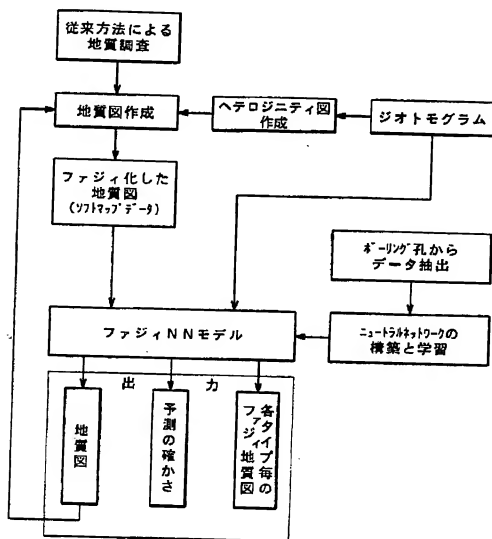
【図18】従来方法によるニューラルネットワーク処理による地質図である。

【符号の説明】

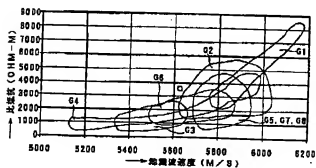
10…入力部、11…ファジィ・ニューラル・ネットワーク部、12…出力部、13…ボーリングデータなどの入力部、14…ジオトモグラム入力部、15…ヘテロジニティ作成部、16…標高データ入力部、17…ファジィ化マップ作成部、18…階層型ニューラル・ネットワーク部、19…非ファジィ化部、20…地質図出力部、21…予測の確かさの出力部、22…ファジィ地質マ

ップ出力部。

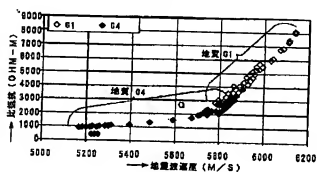
【図1】



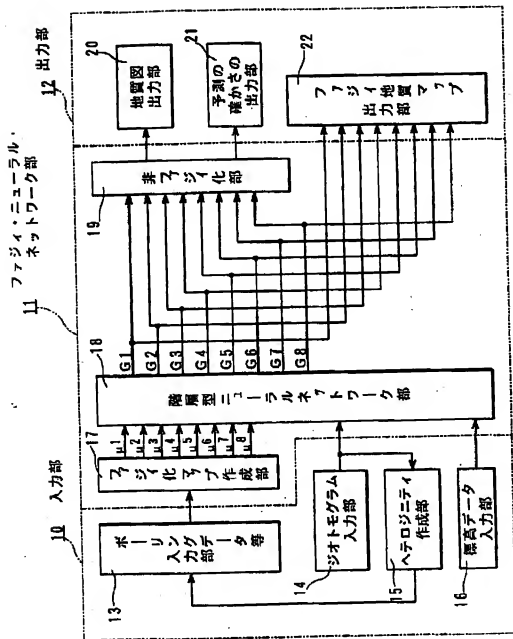
【図4】



【図5】

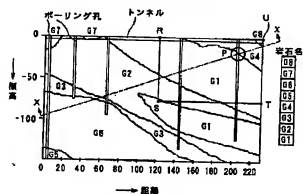


【図2】



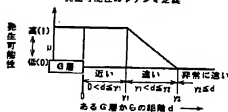
【図3】

公知の方法による地質図



【図6】

発生可能性のファジィ定数

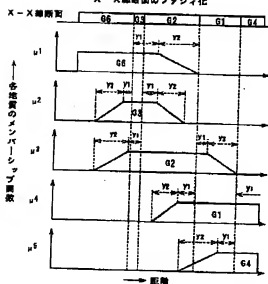


【図12】

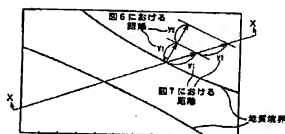
地質の種類	従来例 (%)	本発明例 (%)
G1	47	10
G2	24	21
G3	48	78
G4	62	13
G5	不適切なデータ	
G6	11	27
G7	4	79
G8	不適切なデータ	

【図7】

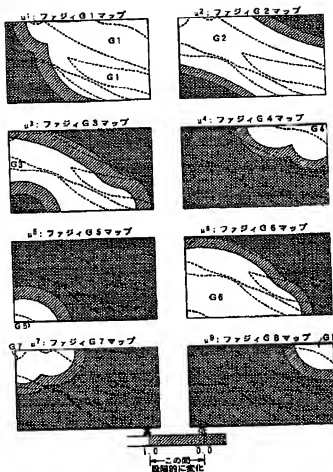
X-X線断面のファジィ化



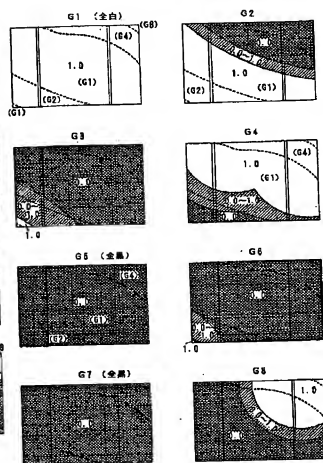
【図8】



【図9】



【図10】

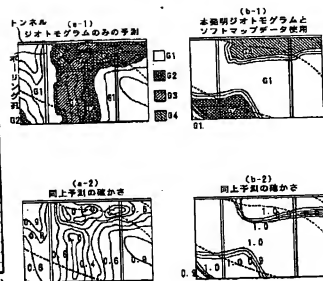


【図11】

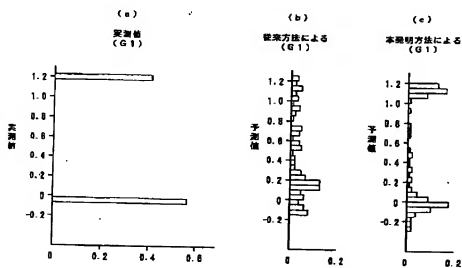
本発明によるソフトマップデータ										従来の ジオトモグラム	
番号	標高	u1	u2	u3	u4	u5	u6	u7	u8	Ln(R)	Ln(V)
1	-110	0	0.09	0.00	0	0	0	0	0	3.27	3.754
2	-88	0	0	0	0	0	0.43	0	0	3.287	3.73
3	-120	0	0	0	0	0	0	0	0	3.318	3.764
4	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	3.474	3.768
5	-8	0	0.07	0	0.42	0	0	0	0	3.175	3.784
6	-52	0	0.09	0.21	0	0	0	0	0	3.317	3.768
7	-72	0	0.03	0.00	0	0.11	0	0	0	3.508	3.768
8	-27	0.05	0.00	0	0.36	0	0	0	0	3.338	3.76
9	-88	0	0	0.07	0	0	0	0	0	3.364	3.77
10	-12	0.04	0.46	0	0	0	0	0	0	3.368	3.764
11	-9	0	0.61	0	0.71	0	0	0	0	3.362	3.768
12	-68	0.07	0	0	0	0.07	0	0	0	3.284	3.738
13	-72	0	0	0.71	0	0	0	0	0	3.582	3.77
14	-52	0	0.09	0	0	0	0	0	0	3.61	3.768
15	-22	0	0.89	0	0	0	0	0	0	3.772	3.771
16	-88	0.05	0	0	0	0.00	0	0	0	3.28	3.768
17	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	3.491	3.768
18	-88	0	0	0	0	0	0	0	0	3.293	3.732
19	-72	0	0	0	0	0	0.28	0	0	3.428	3.764
20	-72	0	0.69	0.26	0	0	0	0	0	3.416	3.768
21	-58	0	0	0	0	0	0	0	0	3.317	3.768
22	-58	0.04	0	0	0	0	0.08	0	0	3.761	3.768

(R=ahm-m) (V=km/sec)

【図14】

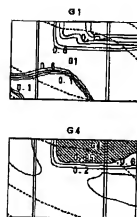


【図13】

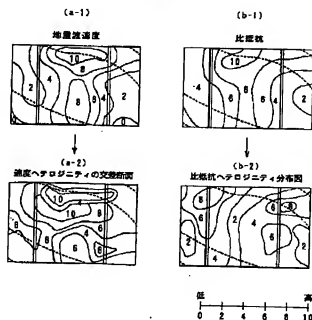


【図15】

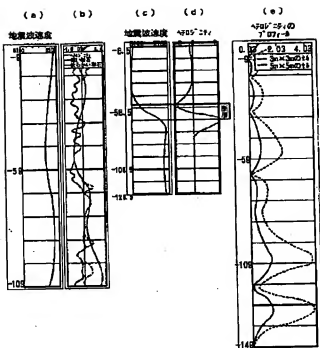
ファジィ予測の特徴図



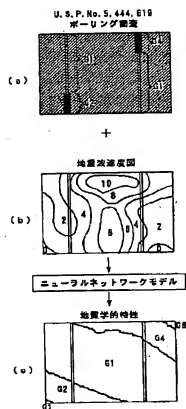
【図16】



【図17】



【図18】



THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)